

Kapitel 2 - Laddningar och elektrisk ström

Inledande materiallära

Partiklar, laddningar, spänning och ström

En hårddisks skivor roterar i hög hastighet. Lagrad information läses och skrives av magnetarmens huvud. Hårddiskens elektroniska gränssnitt mot din dator överför sedan data i hög hastighet.

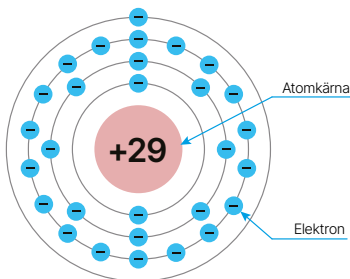
Allt detta är tack vare den elektriska strömmen. Men hur går det till? I detta kapitel får du lära dig vad elektrisk ström är och hur den drivs fram av elektrisk spänning.

Viktiga nya begrepp är laddningar, elektromagnetisk kraft, ledningselektroner, statisk elektricitet, potentialskillnad, spänning och ström.



Den osynliga elektriciteten

Om vi vill förstå hur elektricitet fungerar, vad elektrisk spänning och ström är och hur den uppstår måste vi "titta in" i atomerna. Det är i detta mikrokosmos vi hittar elektronerna som är nödvändiga för att spänning och ström skall uppstå. Med hjälp av modeller (bilder) kan vi både förstå och förutsäga elektriska fenomen. Enligt fysiken (kvantmekaniken) har elektronen liksom alla andra atomära partiklar en dubbelnatur. Experiment visar att de ibland uppträder och kan beskrivas som partiklar och ibland som elektromagnetiska vågor. Dessa beskrivningar kompletterar varandra. Vissa av den elektriska strömmens egenskaper kan vi förstå med hjälp av en partikelmodell, andra kräver att vi ser till dess vågnatur.



Figur 2.1
Kopparatom

Atomens partiklar och laddning

Vi utgår från en enkel skolmodell hämtad från atomteorin. I atomens kärna finns positivt laddade protoner samt oladdade neutroner. På be-

stämda avstånd från kärnan rör sig ett moln av negativt laddade elektroner. Atomens beståndsdelar, protoner, neutroner och elektroner kallas för elementarpartiklar. Det är en partikel som inte kan delas upp i mindre beståndsdelar.



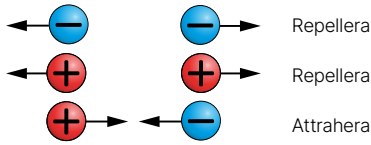
Figur 2.2
Atomens kärna kallas nukleon

Atomens kärna kallas för nukleon och består av neutroner och protoner. Antalet protoner i kärnan bestämmer atomens identitet, vilken beskrivs med ett atomnummer. Kopparatomen i **figur 2.1** har atomnummer 29. Kopparatomen passar bra att använda som exempel då koppar är ett material som används flitigt inom elektroniken. Kopparatomen har 29 elektroner som befinner sig i fyra olika skal (nivåer) utanför kärnan.



Figur 2.3
Protonen är positiv och elektronen är negativ

En proton har lika stor laddning som en elektron fast med omvänd polaritet. Protonen är positivt laddad medan elektronen är negativt laddad. Då atomen har lika många positiva som negativa laddningar är den elektriskt neutral.



Figur 2.4
Kraften mellan partiklar

Den elektromagnetiska kraften

Mellan atomens laddade partiklar finns den kraft som i grunden styr alla elektriska fenomen, den elektromagnetiska kraften. Det är en kraft som uppstår just för att partiklar har laddning, en slags "elektrisk massa". Man kan jämföra med gravitationen som uppstår på grund av att partiklar har massa (vikt). Dock saknar gravitationen betydelse på atomnivå eftersom partiklarnas massa är så enormt liten. I princip fungerar den elektromagnetiska kraften på följande sätt:

Partiklar påverkas av varandra

Partiklar med samma slags laddning stöter bort varandra (repellerar) medan partiklar med olika slags laddning dras till varandra (attraherar).

Det betyder att elektroner håller sig på behörigt avstånd från varandra medan atomkärnan binder elektronerna till sig.

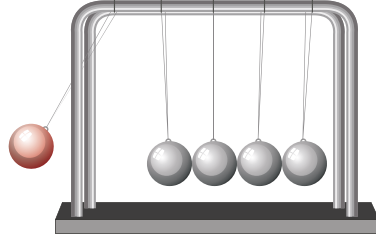
Styrkan av den elektromagnetiska kraften är oändlig

Styrkan av den elektromagnetiska kraften mellan två laddade partiklar minskar med kvadraten av avståndet när de rör sig ifrån varandra, dvs. när avståndet dubblas mellan två laddade partiklar, minskar kraften mellan dem med en faktor på fyra. Eftersom kraften mellan två laddade partiklar aldrig minskar helt till noll, oavsett hur långt ifrån de är, säger vi att räckvidden för den elektromagnetiska kraften är oändlig.

Med ljusets hastighet - nästan

Den elektromagnetiska kraften verkar på avstånd, med ljusets hastighet. Detta faktum förklarar varför en lampa på långt avstånd tänds "omedelbart". När vi släpper loss den elektriska strömmen (se **figur 1.12**) är det just elektroner

som sätter övriga elektroner i rörelse. Det blir en kedjereaktion elektronerna emellan, genom hela ledaren. I den här kedjereaktionen fortplantar sig energin ungefär som i en kedja med kulor, vi kan använda newtons vagg som tankemodell.



Figur 2.5
Newtons vagg, jämförelse hur elektroner knuffas framåt i en ledare.

Vi säger att energin i den första kulan, kommer från ett batteri (energikälla). Den fortplantar sig genom kulraden (ledaren) och knuffar ut en kula i den andra ändan. Sista kulan bär nu energin som tänder lampan.

En stor skillnad är att de mekaniska kulorna rör sig mycket långsamt jämfört med den elektromagnetiska kraften som verkar med ljusets hastighet.

Hur rörliga är laddningarna?

Det som avgör hur ett ämne uppför sig i en elektrisk krets är hur laddningarna i ämnet beter sig. En viktig egenskap är i vilken utsträckning laddningarna kan transporteras i ämnet, deras rörlighet.

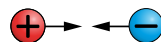
Ledare och isolatorer

De två grupper av ämnen som har avgörande betydelse för elektriciteten, ledare och isolatorer. Ledare är det som bäst leder ström medan isolatorer knappt leder ström alls. Vi skall undersöka skillnaden mellan ledare och isolatorer och utgår från koppar som är en bra ledare.

Elektriska ledare

En elektrisk ledare är ett material som enkelt tillåter elektrisk ström att passera genom det. Detta genom att elektronerna i atomens elektronskal är löst bundna, och där med lätt rörliga, kan förflytta sig från atom till atom. Om en atom har löst

Bra att känna till om elektriska laddningar



Laddningen kan vara positiv och negativ

Laddningar kan vara positiva eller negativa. Laddningar uppstår på grund av överskott eller underskott av elektroner i ett ämne eller en molekyl. Om det finns fler elektroner än protoner, blir ämnet negativt laddat. Om det finns färre elektroner än protoner, blir ämnet positivt laddat.

Laddningar attraherar eller repellerar

Lika laddningar repellerar (stöter bort) varandra och olika laddningar attraherar varandra.

Elektriska fält skapas av laddningar

En laddning skapar ett elektriskt fält runt sig, vilket påverkar andra laddningar i närheten. Ju större laddningen är, desto starkare blir det elektriska fältet.

Elementarladdningen

Elementarladdningen är den minsta laddning som antas förekomma. Den betecknas med (e) och är den fundamentala laddningen hos en enskild elektron respektive proton. Laddningsstorleken (e) är ca $1,602 \cdot 10^{-19}$ coulomb (C). En proton har en positiv laddning på $+1 e$ och en elektron har en negativ laddning på $-1 e$.

Laddningar kan inte försvinna

Eftersom laddning är en egenskap hos elementarpartiklarna kan en laddning inte försvinna. Den kan följa med partikeln och på så sätt röra sig med olika hastighet men den kan inte försvinna.

Laddningar verkar på avstånd

Mellan laddningar verkar den elektromagnetiska kraften. Denna verkar på avstånd och med ljusets hastighet.

Enheten för laddning, C eller As

Coulomb (C) är SI-enheten för laddning. 1 C är också samma sak som 1 As (amperesekund).

1 coulomb definieras som den mängd laddningar som passerar genom ett tvärsnitt av en ledare med en strömstyrka på 1 ampere under 1 sekund. 1 coulomb motsvaras av en laddningsmängden bestående av ca $6,24 \cdot 10^{18}$ elektroner.

Laddningsmängden Q

I den praktiska elektroniken är det alltid ett stort antal elektroner inblandade. Den totala laddningsmängden är summan av laddningar. (på samma sätt som massan är summan av de ingående atomernas massa). Vid beräkningar betecknas laddningsmängden med bokstaven Q .

Beräkna laddningsmängd

Om vi har 8 000 000 000 000 ($8 \cdot 10^{12}$) elektroner med en total laddningsmängd Q . Laddningsmängden motsvarar summan av elementarladdningarna dvs. $Q = 8 \cdot 10^{12} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \approx 1,28 \cdot 10^{-6} \approx 1,3 \mu\text{C}$ (eller $1,3 \mu\text{As}$), alltså en mycket liten laddningsmängd.

Kraften mellan laddningar kan beräknas med Coulombs lag

Den kraft som finns mellan två laddningar Q_1 och Q_2 kan antingen vara repellerande eller attraherande. Kraften (F) beror på laddningarnas storlek och avtar med kvadraten på avståndet:

$$F = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

Där F = elektrisk kraft, k = coulombs konstant, Q = laddning, r = avstånd.

Mer om Coulombs lag

Läs mer om Coulombs lag i fördjupningen i slutet av kapitlet...

eller hårt bundna elektroner beror på dess yttersta elektronskal. Man kallar elektronerna i det yttersta skalet för valenselektroner och atomens yttersta elektronskal kallas för valensband. Olika ämnen och material har olika mängd valenselektroner och beroende på om ett ämne har ett "fullt" valensband eller inte får den olika ledaregenskaper.

Elektronskalens olika energinivåer

Elektroner kretsar i banor runt atomen i bestämda nivåer (skal). Varje elektronskal (som i sin tur är uppdelade i orbitaler) är en energinivå med plats för ett bestämt antal elektroner. Skalen benämns med bokstäver, K-skala (1:a skalet), L-skala (2:a skalet), M-skala (3:e skalet)... räknas upp till Q-skalet. Se **figur 2.6**.

Elektronerna har olika energi beroende på i vilket skal de befinner sig i. Elektronerna i K-skalet närmst atomkärnan har lägst energinivå. Ju längre från kärnan ett skal befinner sig, desto högre energinivå. Kärnans positiva attraktionskraft binder elektronerna till sig men om energi tillförs, kan en elektron hoppa ut till nästa skal (högre energinivå).

Valensbandet binder ihop atomer

Det är elektronerna i det yttersta skalet som binder ihop atomer, de kallas för valenselektroner (valens är bindningsförmågan).

Ledningsbandet

Elektroner i valensbandet är de som är minst bundna till kärnan. Om energi tillförs, kan elektroner till och med lämna valensbandet och blir mer eller mindre fria från atomen, de hamnar i det energiband som kallas för ledningsbandet. Mellan valensbandet och ledningsbandet finns ett bandgap vars storlek motsvarar den energi som krävs för hoppet mellan valens- och ledningsband.

Atomernas elektronskal

Elektronerna fyller upp sina skal inifrån och ut med ett bestämt antal elektroner i varje skal. Tabellen visar atomer med upp till 5 skal.

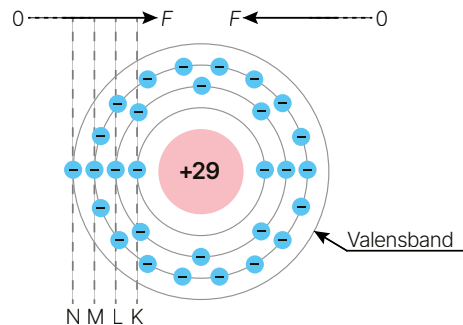
Antalet valenselektroner som ett ämne har, bestämmer dess förmåga att leda ström samt dess förmåga att binda till sig andra atomer för att bilda kemiska föreningar.

Nr, Skal (energinivå)	Max antal elektroner i skalet	Max antal elektroner när ytterskalet är ett valensband
1, K-nivå	2	2
2, L-nivå	8	8
3, M-nivå	18	8
4, N-nivå	32	8
5, O-nivå	50	8

Fullt valensskal gör ämnet stabilt och obenäget att vilja bilda föreningar eller leda ström. Valensbandet följer oktettregeln, vilket är en tumregel inom kemin som säger att varje atom har åtta elektroner i sitt yttersta skal (utom väte och helium). Det är dock viktigt att notera att detta inte är en 100-procentig regel, utan snarare en tumregel med flera undantag.

Elektronerna i kopparatomen

Du känner redan till att kopparatomen har 29 elektroner. Det innersta skalet innehåller 2, nästa 8 och det tredje 18 elektroner. I det yttersta skalet finns endast en elektron. Den elektromagnetiska kraften binder elektronerna till kärnan. Men kraften (F) avtar med avståndet från kärnan. Elektronen i det yttersta skalet, valensbandet, påverkas därför minst av kärnans attraktionskraft.



Figur 2.6

Kraften som håller elektronerna på plats minskar med avståndet till kärnan

Hur bundna valenselektronerna är till atomkärnan är av största betydelse för ett ämnes egenskaper. I koppar och andra metaller är valenselektronerna löst bundna till sin "egen" kärna.

Kopparatomer binder till varandra i ett regelbundet

Kapitel 2 – Hur blir det elektrisk ström

det kristallgitter. I sin kristall är kopparatomerna så tätt packade att valenselektronerna överlappar varandra. Valenselektroner från en atom, kan alltså delas med en närliggande atom. I koppar-kristallen kommer valenselektroner att attraheras lika mycket (eller kanske snarare lika lite) av de närliggande atomkärnorna. Till skillnad från alla de andra 28 elektronerna som är hårt bundna till atomen får därför den 29:de en särställning, den flyter omkring och byter plats med de andra atomers valenselektroner.

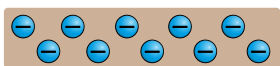
Från 1 till 85 000 000 000 000 000 000 st

En fri elektron av 29 låter lite, men om vi ser till antalet i en elektroner i en bit koppar blir det anorlunda!

I en kopparkub med storleken 1 mm³ finns det $8,5 \cdot 10^{19}$ atomer. Om vi antar att det finns en helt fri elektron per var tionde atom (det är troligtvis lågt räknat) blir antalet fria elektroner $8,5 \cdot 10^{18}$ st. Om vi tänker ett steg till, eftersom varje elektron har en elementarladdning (e) blir den totala laddningsmängden:

$$Q = 8,5 \cdot 10^{18} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} = 1,36 \text{ As.}$$

I den här lilla kopparbiten på en kubikmillimeter finns det alltså fria elektroner med en total laddningsmängd på 1,36As.



Figur 2.7

Statistiskt jämn laddningsfördelning i material

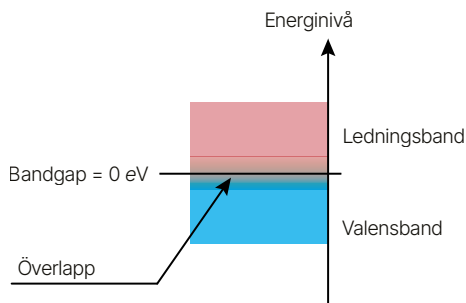
Neutral fördelning

De fria elektronerna i ett material förflyttar sig inte på något samordnat eller organiserat sätt, snarare synnerligen slumpartat.

En viss ordning blir det dock på grund av den elektromagnetiska kraften (växelverkan) mellan laddningarna. Eftersom alla elektroner har samma negativa laddning stöter de bort varandra, det får till följd att de statistiskt sett fördelar sig jämt i materialet. Det blir en neutral laddningsfördelning av rörliga laddningar.

Eftersom elektronerna påverkar varandra genom den elektromagnetiska kraften ställer den neutrala fördelningen in sig med ljusets hastighet. Den elektromagnetiska kraften bestämmer till 100%. Tyngdkraften saknar betydelse. Hur man än vri-

der och vänder på en ledare kan det därför inte inträffa, att det samlas fler elektroner i den ena änden. Även om de rör sig med olika energi, hastighet och riktning blir summan av alla rörelser en jämn fördelning.

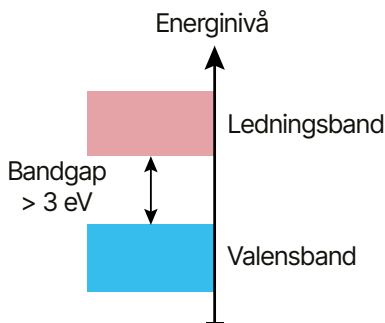


Figur 2.8

Ledare, valensband och ledningsband överlappar

En ledare har fria elektroner

När elektronerna i valensbandet i det närmaste är helt fria från sin "egen" kärna säger man att de befinner sig i ledningsbandet. Elektroner i ledningsbandet kallas för ledningselektroner och det är dessa som kan röra sig fritt genom materialet. Ledningselektronerna är förutsättningen den elektriska strömmen i en ledare. Det typiska för metaller (som koppar) är att valensbandet och ledningsbandet flyter ihop, överlappar. De ligger på samma energinivå, alltså finns inget bandgap. Ju större bandgapet är desto mer energi krävs för att få en elektron att hoppa ut till ledningsbandet. Ämnen och material med ett stort bandgap räknas som isolatorer.



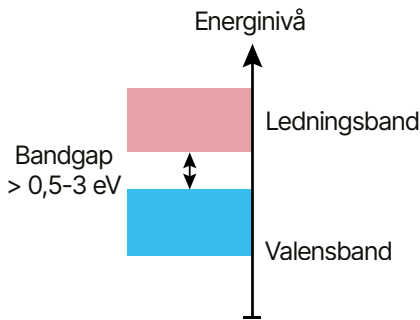
Figur 2.9

Isolator, valensband och ledningsband med bandgap

En isolator saknar fria elektroner

När atomer slår sig samman till kristaller och molekyler eftersträvas fyllda valensband vilket ger materialet styrka och stabilitet. Om valensbandet är fyllt och inga elektroner blir över, blir bandgapet stort. I ett sådant här ämne finns inga fria elektroner, ledningselektroner. Det kan inte leda ström och vi kallar det för en isolator.

Ett isolerande ämne behöver inte vara uppbyggt av endast en slags atomer. De flesta isolatorer är inte grundämnen utan sammansatta ämnen som plast, gummi, keramik eller luft. Det gemensamma för isolatorer är att valensbandet är fullt och ledningsbandet tomt eftersom bandgapet är stort.

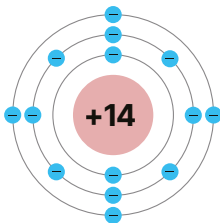


Figur 2.10

Halvledare, valensband och ledningsband med mindre bandgap

Halvledande material

Mellan ledare och isolatorer finns den typ av material som kallas halvledare. I en halvledare har bandgapet en storlek som ligger mellan isolatorns och ledarens. Vanliga halvledarmaterial är kisel och germanium. En kiselatom har fyra elektroner i yttersta skalet.

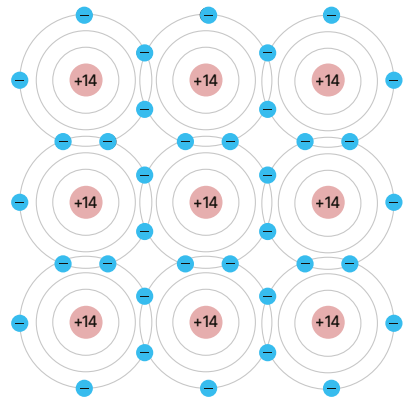


Figur 2.11

Kiselatom

Det karakteristiska för kisel och de andra halvledarna är att de är perfekta isolatorer vid absoluta

nollpunkten men om de värms upp kan ett mindre antal elektroner frigöras och de får en viss ledningsförmåga, dock inte jämförbar med metaller.



Figur 2.12

Kristallstruktur av kiselatomer

Tillsammans med omgivande kiselatomer bildas en mycket fast kristallstruktur.

Dopning

Sin största användning har kisel och andra halvledande grundämnen när de förenas med andra speciella ämnen, så kallade störamnen. Tekniken kallas dopning. Ett sådant ämne är fosfor som har 5 elektroner i sitt yttersta skal. Ett annat ämne är bor som har 3 elektroner i sitt yttersta skal.

Om till exempel kiselatomer förenas med en liten mängd fosforatomer blir det elektroner över dvs. fria laddningsbärare. Resultatet blir en ledare där elektroner uppträder som laddningsbärare. Materialet kallas N-dopat. Om störamnet i stället är boratomer som endast har 3 elektroner i yttersta skalet blir det annorlunda. När boratomer integreras med kisel blir det ett underskott på elektroner. Om det saknas en elektron, fungerar det precis som om det var ett överskott på positiva laddningar. "Hålet" fylls upp av elektroner och flyter på så sätt omkring som en positiv laddningsbärare. Materialet kallas för P-dopat. Mer om halvledare och dopning i kapitel 12.

Den fotoelektriska effekten

Den fotoelektriska effekten beskriver hur en bit metall kan generera en svag ström när den belyses av ljus med tillräckligt hög energi, vilket tillåter elektronerna i metallen att röra sig och skapa strömmen. Genom att tillföra energi, med t.ex. fotoner (ljus) kan en elektron hoppa ut till sitt nästa skal (energinivå). Processen kan också vara den motsatta. När en elektron hoppar tillbaka till ett skal närmare kärnan frigörs motsvarande mängd energi vilken sänds ut som en foton (ljus). Lysdioden emitterar fotoner medan solceller absorberar dem. Detta fenomen har många tillämpningar, bland annat i solceller och fotoceller.



Figur 2.13

Ljuskänslig yta hos fotoresistor

Excitation med hjälp av fotoner, ljus

Genom att tillföra energi utifrån går det att excitera en elektron. Det betyder att den hoppar ut från sitt normala skal till ett skal med högre energinivå som ligger längre bort från kärnan. Excitation kan göras med t.ex. ljus som innehåller energirika partiklar, fotoner. När fotonen träffar materialet absorberas den och överför sin energi till elektronerna i materialet.



Figur 2.14

Lysdioden emitterar fotoner, ljus

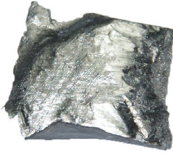
Elektronen återvänder, då blir det ljus

När den exciterade elektronen återvänder till sitt ursprungliga skal med lägre energinivå (närmare kärnan) kommer på motsvarande sätt energi att avges som fotoner, dvs. ljus. Detta utnyttjas bland annat i lysdioder.

Mer om den fotoelektriska effekten

Läs mer om den fotoelektriska effekten i fördjupningen i slutet av kapitlet...

Viktiga ämnen och material i elektroniken



Terbium - sällsynt jordartsmetall

Atomnummer

Det finns ett 100-tal unika grundämnen. Varje grundämne har ett unikt atomnummer vilket representerar atomens antal protoner, återfinns i det periodiska systemet (se formler och tabeller i slutet av boken). Koppar (Cu) med 29 protoner har således atomnummer 29.

Ledare

Exempel på ämnen som leder ström bra: Koppar Cu (29). Silver Ag (47). Guld Au (79). Platina Pt (78). Tenn Sn (50). Aluminium Al (13).

Halvledare

Halvledare är varken ledare eller isolator utan ligger mellan de två. Exempel på ämnen: Kisel Si (14) och Germanium Ge (32).

Störämnena

En annan viktig grupp är de grundämnen som används för så kallad dopning av halvledare. Doping förändrar halvledarens ledaregenskaper. Exempel på ämnen: Bor B (5), Fosfor P (15) och Gallium Ga (31).

Ädelgaser

Används som fyllning i ljuskällor som t.ex. lysrör och lampor. Är dessutom viktiga vid tillverkning av t.ex. halvledare och används av elektronikindustrin. Exempel på ämnen: Argon Ar (18), Helium He (2), Neon Ne (10) och Krypton Kr (36).

Isolatorer

Isolatorer är ämnen som inte leder ström. Det finns få fasta grundämnen som passar som isolatorer. Där emot finns många sammansatta ämnen som polymerer (plaster), keramik, glimmer och luft.

Sällsynta jordartsmetaller

Är en grupp bestående av 17 ämnen som spelar en viktig roll inom elektroniken. Dessa ämnen har unika egenskaper som gör dem oundgängliga för en rad applikationer, allt från mobiltelefoner till elektriska fordon. Här är några utvalda: Neodym (60): Används för att göra kraftfulla magneter. Finns i t.ex. högtalare, datorhårddiskar vindkraftverk och elbilar.

Lantan (57): Används i optik (kamera- och teleskoplinser).

Gadolinium (64): Används i röntgen- och MR-skanningssystem, även i bildskärmar.

Cerium (58): Används b.l.a. till katalysatorer i bilar och vid raffinering av råolja.

Praseodym (59): Används b.l.a. för tillverkning av starka metaller till flygplansmotorer samt till skyddsvisir för svetsare.

Yttrium (39) - Terbium (65) - Europium (63):

Är viktiga ämnen vid tillverkning av bildskärmar, bränsleceller m.m. Europium används även för att tillverka styrstavar i kärnreaktorer. Skandium (21): Används b.l.a. för att skapa aluminiumlegeringar med låg vikt och hög hållfasthet, främst för flyg- och rymdteknik.

Polymerer / plaster

Används ofta för isolation men även för olika typer av kapsling och skydd. Några av de viktigaste platserna inom elektronikindustrin är:

ABS - Akrylnitrilbutadienstyren: Tangentbord, bildskärmar och apparathöljen.

Epoxi: Mönsterkort (PCB), komponenter.

PA - Polyamid (nylon): Kontakter, adapterar, skruvar och kugghjul.

PC - Polykarbonat: Kopplingsplintar, kontakter, CD-skivor och höljen.

PE - Polyeten: Kablar (isolation).

PET - Polyester (mylar): Komponenter.

PMMA - Akryl (plexiglas): Bildskärmar, komponenter.

PP - Polypropylen: komponenter.

PS - Polystyren (t.ex. cellplast): Komponenter och förpackningar (stötdämpning).

PVC - Polyvinylklorid: Kablar, elrör, kopplingsboxar, förpackning och tejp.

Statisk elektricitet och spänning

Du har säker kommit i kontakt med statisk elektricitet, särskilt vintertid när luften är torr. Det gnistrar och sprakar när du tar av dig fleecejackan, du kan få en stöt när du tar i dörrhandtaget, förpackningschips (cellplast) fäster på huden osv. Vi skall nu se att statisk elektricitet är ett verk av den elektromagnetiska kraften i kombination med ett energitillskott. Bilden visar den starka attraktionen mellan kattskin och cellplast..

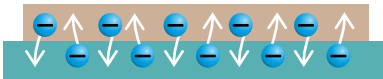


Laddningar kan flytta på sig genom nära atomkontakt

Det är elektronerna i det yttersta skalet, valenselektronerna som binder ihop ett ämne, förenar två ämnen eller avgränsar ett ämne mot ett annat. Om två ämnen pressas ihop är det den elektromagnetiska kraften från främst valenselektronerna som förhindrar att ämnena migrerar in i varandra. Men om två ämnen sätts i nära kontakt med varandra finns inget som hindrar att elektroner hoppar från det ena ämnet till det andra, bara den totala neutraliteten består.

Ofullständigheter ger övergångar

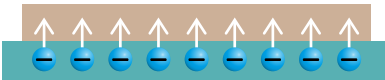
För att mekaniskt lyckas att avskilja elektroner från ett ämne måste vi utnyttja det faktum att strukturen i ett materials ytskikt sällan är fullständig. Just på ytan saknas det, eller så finns för många elektroner. När atomer från två ämnen pressas samman kommer atomerna delvis gå in i varandra och därmed utbyta elektroner med varandra.



Figur 2.15

Elektronutbyte mellan material

Detta gäller såväl isolatorer som ledare, men det är inte nog med det. Om det ena ämnet saknar elektroner, och det andra har för många elektroner i jämförelse med sitt ideal tillstånd (där valensbanden är fulla) kommer elektroner att vandra över från det ena till det andra materialet.



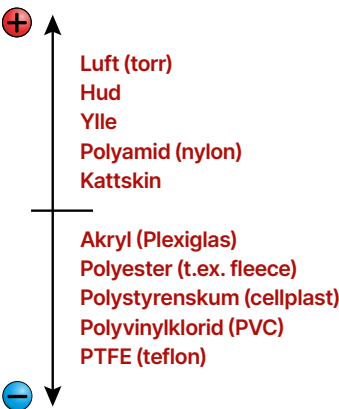
Figur 2.16

Elektronvandring för att skapa ett neutralt läge

Materials uppladdningsförmåga

Vissa material har lätt att avge elektroner. Det gäller t.ex. luft, ylle, glas och nylon. Dessa blir lätt positivt laddade. Andra ämnen har tvärtom betydligt lättare för att dra till sig elektroner. Det gäller till t.ex. olika plaster men även vissa metaller som guld, silver, nickel och koppar. Dessa ämnen blir då gärna negativa.

Man kan sortera alla material från de mest positiva till de mest negativa i en lista som kallas den triboelektriska serien. Läs mer om den triboelektriska serien i fördjupningen i slutet av kapitlet. Här är en liten del av serien:

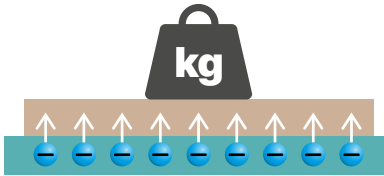


Figur 2.17

Material från triboelektriska serien

Torr luft är det mest positiva och teflon det mest negativa i urvalet. Ju längre ifrån varandra ämne-

na ligger desto större laddningsmängd kommer att vandra över mellan materialen.



Figur 2.18

Ökad kontaktyta med press

Om t.ex. ylle och plast sätts i nära kontakt med varandra (pressas ihop) kommer, i gränsytan, elektroner att gå över från yllet till plasten.

Gnidning ökar kontaktytan

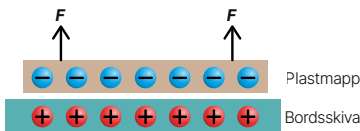
Då såväl plast som ylle har ojämn yta blir kontaktytan vid pressning ganska liten. Genom att gnida materialen mot varandra ökar kontaktytan och därmed vandrar fler elektroner över. Förflyttningen av elektroner ger plastmaterialet ett överskott och yllet ett underskott på negativa laddningar, men tillsammans är de båda materialen fortfarande neutrala.

Ännu ingen elektricitet

Det har ännu inte uppstått någon elektricitet, vi har ett neutralt läge. Elektricitet uppstår först när vi separerar laddningarna från varandra genom att tillföra energi.

Statisk elektricitet kräver tillsats av energi

Tänk dig en plastmapp som ligger på en bordsskiva. När du skall ta upp mappen kan du riktigt känna hur bordsskivan håller emot och inte vill släppa taget. Materialen dras till varandra.



Figur 2.19

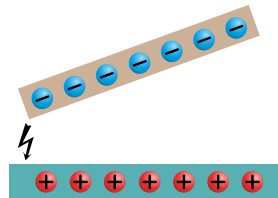
Materialen vill inte släppa taget

Den elektromagnetiska kraften motarbetar en separation och fungerar som ett elektrisk klistre mellan plasten och underlaget. För separationen

måste energi tillföras. Men när materialen väl är separerade från varandra, finns ingen väg tillbaka för elektronerna. Plastmappen kommer att ha ett överskott på negativa laddningar, Q^- och bordsskivan ett motsvarande underskott på elektroner, Q^+ .

Vi har fått en uppladdning

Obalansen i laddningar kallar vi för en uppladdning. Det är en uppladdning som inte bara gäller mellan laddade material, utan även i förhållande till neutrala material. Säkert har du råkat ut för att ge helt oskyldiga personer "en elektrisk stöt". Om man fortsätter att dra isär materialen, kan man höra hur det sprakar, det kan det även uppstå en gnista. När det sprakar och gnistrar är det elektroner som söker sig tillbaka, luftvägen, en urladdning uppstår.



Figur 2.20

Urladdning, det gnistrar och sprakar

Upp- och urladdning kan man uppleva om man kammar eller borstar håret. Kammen (av plast) laddas upp så att det sprakar och gnistrar mellan håret och kammen. Dessutom spretar håret åt alla håll vilket beror på att hårstråna vid separationen blir positivt laddade och därför stöter bort varandra. Vi kallar detta statisk elektricitet. Statisk betyder "inte i rörelse" och vi syftar då på att det inte flyter någon ström.

Historia - Thales och Gilbert

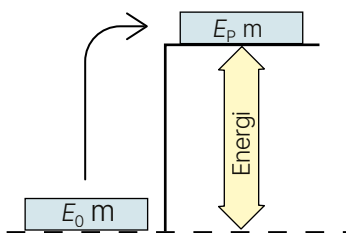
Under antiken på 600-talet f.Kr gnuggade greken Thales en bit bärnsten mot päls och kunde därefter konstatera att bärnstenen drog till sig lätta föremål som fjädrar och hårstrån. Engelsmannen William Gilbert gjorde liknade experiment 1570 och kallade den här effekten "elektricitet" efter det grekiska ordet för bärnsten – *elektron*.

Det har uppstått spänning

Statisk elektricitet uppstår när elektriska laddningar separerats genom tillfört arbete (energi).

Vi tillför potentiell energi

Jämför nu med att lyfta en box från golv till bord. Vi förändrar inte boxens massa (m), bara dess potentiella energi, från E_0 till E_p .



Figur 2.21

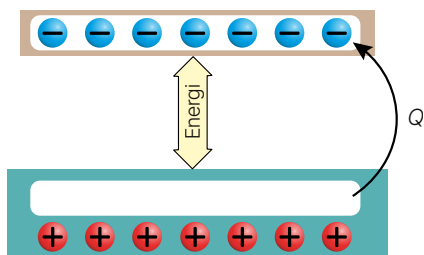
Energitillskott vid lyft

Vi kan formulera energiökningen som:

$$\frac{E_p - E_0}{m} = \frac{\Delta E}{m}$$

Ett energitillskott per massenhet. I detta fall skulle det mätas i Ws/kg.

Samma sak gäller för separationen av laddningar. Den avskilda laddningen får högre energi efter jämfört med före separationen.



Figur 2.22

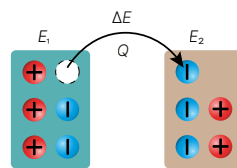
Energitillskott vid separation

Precis som vid boxlyftet (**figur 1.4**) kan vi formulera energiökningen i förhållande till den mängd vi flyttat, som nu inte är massa (m) utan laddningsmängden Q .

Vad är delta - Δ

När man beskriver skillnad mellan två värden, använder man begreppet delta som har symbolen Δ .

Exempel på beskrivning av temperaturskillnad: $\Delta t = t_2 - t_1$



Figur 2.23

Energitillskott per laddningsenhet

Vi får då ett energitillskott per laddningsenhet:

$$\frac{E_1 - E_2}{Q} = \frac{\Delta E}{Q}$$

Det är skillnaden mellan de två tillstånden för laddningen Q (dvs. $\Delta E/Q$) som är potentialskillnaden. Potentialskillnad är samma sak som elektrisk spänning.

Om vi beskriver det med en formel får den det här utseendet:

$$U = \frac{E}{Q}$$

Formeln säger att: energin (E) som används för att förflytta laddningen (Q) ger oss en potentialskillnad (U). Kan även uttryckas som: Spänningen (U) motsvarar den energimängd (E) som tillförts en laddningsmängd (Q).

Begreppet potentialskillnad förtydligar att spänning innebär en skillnad i potentiell energi, för den elektriska laddningen, före och efter separationen.

Potentialskillnad = Elektrisk spänning

Den skillnad i potentiell energi per laddning som uppstår genom separationen är det vi till vardags kallar elektrisk spänning (volt). Potentialskillnad är spänning. Begreppet potentialskillnad förtydligar vad spänning är, att det finns en skillnad i potentiell energi, för den elektriska laddningen, före och efter separationen.

Enheten för spänning är volt (V)

Eftersom energi (E) mäts i Ws eller J (joule) och laddningsmängd (Q) mäts i As eller C (Coulomb) blir enheten för spänning Ws/As, vilket är samma sak som J/C (joule per coulomb).

$1V = 1 J/C = 1 Ws/As$.

Spänningen mäts i volt (V)

och betecknas med U

Grundenheten volt är uppkallad efter den framstående italienske fysikern Alessander Volta

(1745 – 1827). Volt förkortas med bokstaven V och betecknas med bokstaven U . U kommer från det tyska ordet "Unterschied", vilket betyder "differens" eller "skillnad".

Vanliga prefix för enheten volt

Grundenheten för spänning är volt. Värdet på grundenheten man arbetar med beskrivs ofta med ett prefix.

Prefix / symbol	Decimalt	Tiopotens
1 μ V	0,000001 V	$1 \cdot 10^{-6}$
1 mV	0,001 V	$1 \cdot 10^{-3}$
1 kV	1000	$1 \cdot 10^3$

Vanliga enhetsprefix för volt: mikrovolt (μ V), millivolt (mV) och kilovolt (kV).

Volt	Millivolt	Mikrovolt
0,00005 V	0,05 mV	50 μ V
0,0001 V	0,1 mV	100 μ V
0,001 V	10 mV	-
0,15 V	150 mV	-
1 V	1000 mV	-

Omvandlingstabell av några vanliga mätvärden.

Elektronvolt, 1eV - är inte en spänning

I kapitel 1 sa vi att elektronvolt (eV) är ett mått på energi. Nu kan vi lättare förstå dess innebörd. e står för elementarladdningen dvs. en elektrons laddningsmängd. Om vi separerar en elektron med hjälp av energin 1 eV får vi $U=E/Q = 1 \text{ eV}/e = 1 \text{ V}$. Det är alltså härifrån enheten eV för energi kommer. 1 eV definieras som den energimängd en enskild elektron får när den rör sig genom en spänningsskillnad på en volt. En elektronvolt motsvarar ungefär 1.602×10^{-19} joule (eller Ws).

Energitillskottet bestämmer storleken på spänningen

Det är inte storleken på Q som avgör spänningens storlek. Laddningen Q kan vara en elektron eller många miljoner elektroner. Avgörande är hur mycket energi som tillförs, precis som definitionen säger: $U=E/Q$.

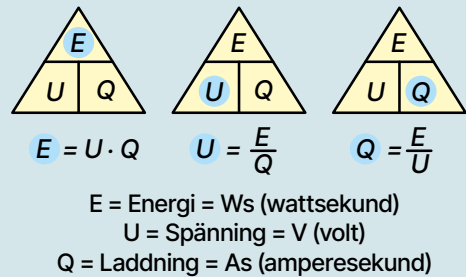
Spänning genom statisk uppladdning

Här kommer ett exempel med statisk elektricitet: När vi går på en syntetisk matta med läder- eller gummskor kan vi laddas upp till över 30 000 V. Man vet också att den laddningsmängd som förs över genom den upprepade kontakten med golvet kan ligga mellan 0,1 och 5 μ C.

Att ladda upp sig med statisk elektricitet känns inte ansträngande. Om vi vill beräkna den energi som vi faktiskt tillför kan vi använda formeln för spänning. Eftersom $U=E/Q$ gäller $E=U \cdot Q$. Vi får: $E=U \cdot Q = 30\,000 \text{ V} \cdot 5 \mu\text{C} = 0,15 \text{ Ws}$.

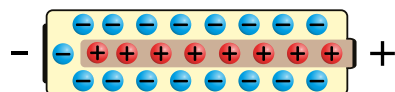
En synnerligen måttlig energimängd, (mindre än vad som krävs för ett tangentnedslag på tangentbordet) men spänningen blir likväl hög (30 000 V) vilket i det här fallet beror på att laddningsmängden är liten.

Beräkningstriangel för Energi - Spänning - Laddning



Spänningen i ett batteri

I såväl batteriet som vid statisk elektricitet uppstår spänningen genom separation av laddningar med hjälp av energi. I batteriet tillförs energin genom en kemisk reaktion (Batteriet kommer närmare att behandlas i kapitel 6). Genom reaktionen blir det ett överskott på negativa laddningar vid minuspolen och ett underskott av negativa laddningar vid pluspolen. Storleken på spänningen i ett batteri kan ses som dess förmåga att trycka ut laddningar.



Figur 2.24

Laddningar i ett batteri

Ett batteri innehåller stor laddningsmängd jäm-

Kapitel 2 – Hur blir det elektrisk ström

fört med statisk elektricitet. Batteriets spänning är dock betydligt lägre än den spänning som uppstår vid statisk elektricitet. Vanliga batterispänningar är 1,5V, 9V och 12V.

Andra spänningskällor

En konstruktion som binder ett antal laddningar i ett högre energitillstånd och därmed upprätthåller en potentialskillnad, kan man benämna som elektrisk energikälla. En vanligare benämning är spänningskälla, eller beroende på hur den används en strömkälla.



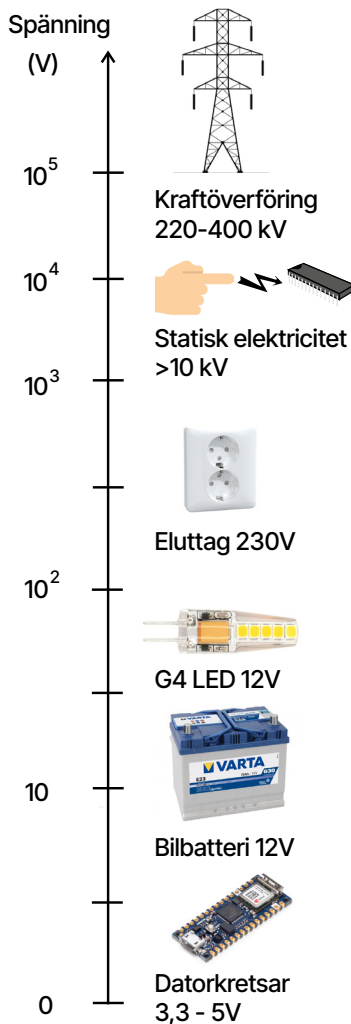
Figur 2.25

Exempel på spänningskällor

Spänningskällor är t.ex. nätadapters och nätaggregat. Ett nätaggregat levererar konstant spänning då laddningsmängden är i det närmaste obegränsad eftersom laddningar fylls på konstant från elnätet (vägguttag). Det finns även spänningskällor som lämnar variabel utspänning. De kallas för laboratorieaggregat eller labbaggregat.

Hur mycket är 1 Volt?

De spänningar man kommer i kontakt med inom elektroniken ligger från några μV till 100-tals volt, i vissa fall 1000-tals volt. Låga spänningar hittar man i t.ex. datorkretsar. Riktigt små är de signaler som fångas upp av en TV-antennen, här rör det sig om μV -spänningar. De riktigt stora spänningarna hittar man i kraftledningar. Här finns spänningar mellan 10 och 400 kV. Bilden visar exempel på spänningar man stöter på i vardagen.

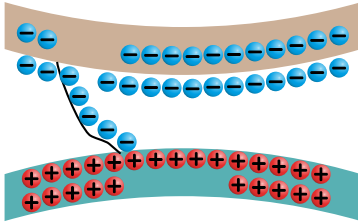


Urladdning och elektrisk ström

Elektrisk ström är ett flöde av elektroner, dvs. laddningar i rörelse. Utan potentialskillnad blir det inget elektronflöde. Spänning är en förutsättning för att det ska uppstå ström.

En väg tillbaka för elektronerna

Från våra erfarenheter av statisk elektricitet vet vi att separerade laddningar vill tillbaka. Så länge polerna hålls åtskilda är urladdningen minimal. För att åstadkomma en urladdning måste vi skapa en väg tillbaka för elektronerna.



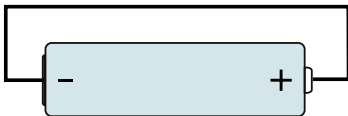
Figur 2.26

Urladdning uppstår

Det kan bara ske genom ett ledande material, inte genom luft eller någon annan isolator. Undantaget är om spänningen blir tillräckligt hög, då kan elektronerna skapa en väg genom luften, en gnisturladdning uppstår.

Urladdning genom ledare

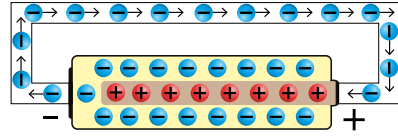
Vi undersöker vad som händer om vi kopplar en ledare mellan ett batteris poler.



Figur 2.27

Kortslutning av batteri

När ledaren kopplas in över batteriet kommer överskottet av negativa laddningar vid minuspolen att rusa mot pluspolen. Detta kommer att påverka alla fria elektroner i ledaren. Genom den elektromagnetiska kraften dras alla elektroner med i en kedjereaktion genom ledaren. Härigenom kommer laddningarnas energi att utjämnas, det sker en urladdning.



Figur 2.28

Laddningarnas energi utjämnas

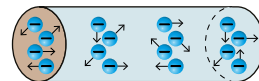
Detta är inget experiment man ska göra i verkligheten. Det tar snabbt död på batteriet och kan resultera i kraftig värmeutveckling (och i värsta fall brand).

Ström av elektroner i ledaren

Med batteriet inkopplat uppstår en ny ordning bland ledningselektronerna i ledaren. Istället för att bara irra omkring kors och tvärs (förvisso med en statistisk neutral fördelning i ledaren) kommer den elektromagnetiska kraften mellan batteripolerna ge upphov till en drift av elektroner mot den attraherande positiva polen.

Den neutrala fördelningen består

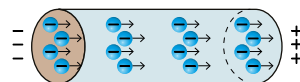
Innan batteriet tillkopplas kommer den elektromagnetiska kraften att verka mellan elektronerna i ledaren.



Figur 2.29

Statistiskt neutral fördelning av elektroner

De fria elektronerna kommer statistiskt att fördelas jämt i ledaren. Summan av alla vektorhastigheter är noll.



Figur 2.30

Drift av elektroner, fortfarande neutral fördelning

Efter inkoppling av batteriet intar de fria elek-

Kapitel 2 - Hur blir det elektrisk ström

tronerna fortfarande en neutral fördelning men förflyttar sig (mot pluspolen):

Batterier tillför elektroner till den neutrala ledarens ena ände samtidigt som lika många lämnar i andra änden.

Eftersom alla rörelser är underordnade de elektromagnetiska krafterna är samordningen ögonblicklig. Den sker med ljusets hastighet. Det betyder dock inte att elektronerna rör sig med ljusets hastighet.

Det har uppstått elektrisk ström

Överallt i ledaren rör sig fria elektroner mot pluspolen. Det totala antalet elektroner i ledaren förändras inte, inte heller den neutrala fördelningen men det sker en förflyttning.

Det är den här förflyttning vi kallar för elektrisk ström. Ju fler laddningar som förflyttar sig, med en bestämd hastighet, desto större är strömmen.

Elektrisk ström = Förflyttning av laddningar / tidsenhet

Strömstyrka beskrivs som transport av laddningar per tidsenhet genom ett tvärsnitt av en ledare.

Den här viktiga definitionen av elektrisk ström kan sammanfattas i formeln:

I = Q / t

Där (I) är elektrisk ström, (Q) är laddning och (t) är tiden.

Eftersom fördelningen av elektronerna i ledaren förblir jämn, lika många går in i ena änden som kommer ut i den andra, är strömmen lika stor på alla ställen i ledaren.

Enheten för ström är ampere (A)

Eftersom elektrisk ström definieras som:

I = Q/t blir enheten för ström C/s (Coulomb/sekund). Denna enhet används inte, istället an-

vänder man SI-grundenheten Ampere (A).

1A = 1 C/s. Enheten ampere har fått sitt namn från den franske fysikern och matematikern André Marie Ampère (1775–1836) som är mest känd för sitt arbete inom elektromagnetism och magnetiska fält.

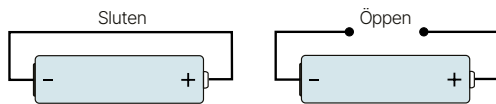
Prefix

Vanliga prefix för ampere (A) är mikroampere (µA) och milliampere (mA). Se tabellen nedan.

Sluten eller öppen strömkrets

När vi släpper fram en ström av laddningar säger vi att vi har en sluten strömkrets.

Motsatsen till en sluten strömkrets är en öppen strömkrets.



Figur 2.31

Sluten respektive öppen krets

I den öppna strömkretsen finns ingen väg för laddningar från den ena polen till den andra, då kan ingen ström flyta. Ett batteri som inte är anslutet till något, är exempel på en öppen strömkrets. En spänning lever och frodas speciellt bra i en öppen strömkrets eftersom att det inte pågår någon urladdning.

För att en elektrisk ström ska kunna flyta, krävs såväl en sluten strömkrets som en spänning

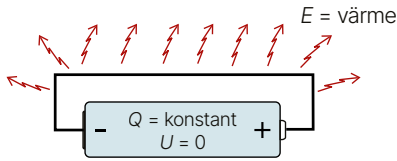
Energin lämnar kretsen - men inte laddningarna

I en sluten strömkrets är laddningsmängden konstant, inga laddningar tillkommer eller försvinner. Det är endast energin som lämnar kretsen, i form av t.ex. värme.

Omvandlingstabell Ampere			µ = mikro = 1·10 ⁻⁶	m = milli = 1·10 ⁻³	
-	0,05 mA	50 µA		0,1 A	100 mA
0,0001A	0,1 mA	100 µA		0,25 A	250 mA
0,001 A	1 mA	1000 µA		1 A	1000 mA
0,01 A	10 mA	-		1,4 A	1400 mA

Tips!

Lär in tabellen till vänster utantill. Detta är omvandlingar man ständigt utför.


Figur 2.32

Energin blir till värme

När energin är "förbrukad" finns inte heller någon spänning kvar i batteriet, helt i enlighet med formeln $U = E/Q$. Total urladdning betyder $E = 0$ vilket ger $U = 0$. Däremot försvinner inte laddningsmängden (Q), den har bara flyttat på sig. Vid statisk elektricitet är det just energiutbytet i urladdningen som ger obehag eller förstör.

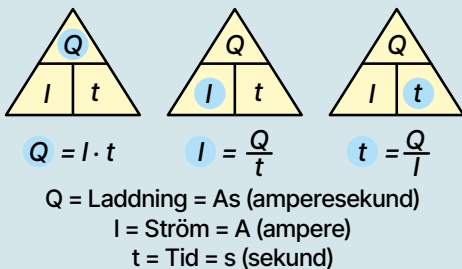
Ny enhet för laddning, amperesekund

Med formeln $I = Q/t$ kan vi lösa ut Q till $Q = I \cdot t$. Det ger en ny enhet för laddning, amperesekund (As).

SI-enheten Coulomb är också härledd från A.s.

**1 C (Coulomb) =
1 As (amperesekund).**

Beräkningstriangel för Laddning - Ström - Tid



As, Ah och mAh

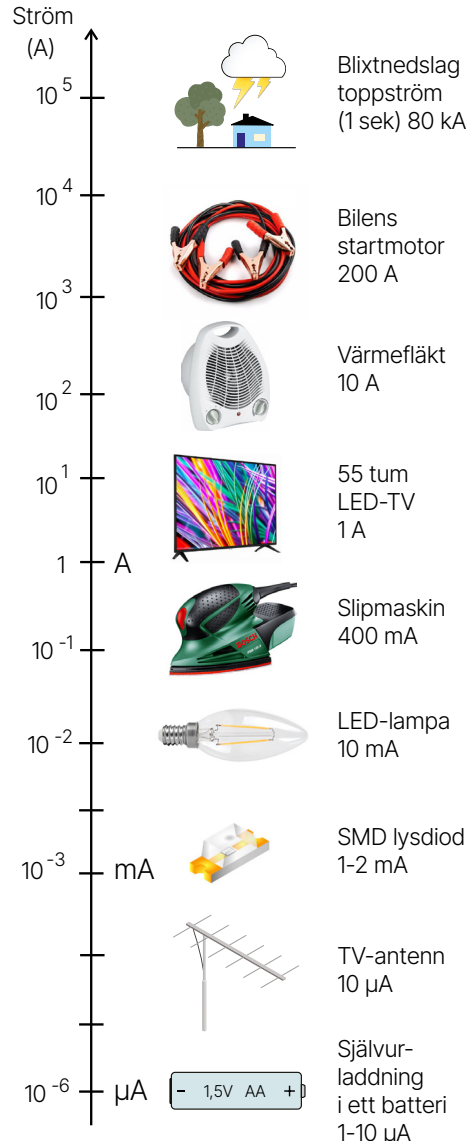
Amperesekund uttryckt med prefix:

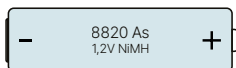
1 Ah = 60 s x 60 min = 3600 As

1000 mAh = 1 Ah = 60 s x 60 min = 3600 As

Hur mycket är 1 ampere?

Inom elläran och elektroniken kommer man i kontakt med strömmar i området μA till 100-tals A. En startmotor till en bil kan dra mer än 200 A från bilbatteriet under startögonblicket. När vi talar om ström i hushållet är det ofta fråga om strömmar i storleksklassen 0,1–10 A. I bilden nedan kan du se ungefärlig ström för några vanliga apparater och företeelser.





Figur 2.33

Kapacitet kan anges med amperesekund

Hur mycket är 1 amperesekund?

Amperesekund är en opraktisk enhet för att beskriva kapaciteten hos ett batteri. För att ge en relation till amperesekund tar vi ett exempel med ett laddningsbart AA batteri, det har kapaciteten 2450 mAh. Först måste enheten mA (milliamperer) omvandlas till A.

1 mA är en tusendels A eller $1 \cdot 10^{-3} \text{ A}$.

2450 mAh uttryckt i A blir då:

$2450 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 2,45 \text{ A}$. Uttryckt i As blir 2,45 Ah:

$2,45 \cdot 60 \cdot 60 = 8820 \text{ As}$.

Det är inte mycket mening med att känna till att man kan ta ut 8820 A under en sekund. I praktiken är det dessutom inte möjligt, det kommer batteriets inre resistans att förhindra. Ett fulladdat batteri med kapaciteten 2450 mAh kommer kunna lämna strömmen 2450 mA (2,45 A) under en timme sen är det slut (Slutet kommer inte helt tvärt i verkligheten). Se kapitel 6 om batteriets inre resistans och dess urladdningskurva.



Liten laddning kan innehålla stor energi

Blixten vid ett åskväder kan nå en toppström på 200 kA under 1 ms. Det är en mycket hög ström under extremt kort tid. Mer än 90% av alla blixtnedslag har en laddningsmängd under 50 As. Dock kan energin vara hög, 1 000 000 Js. Om man jämför med ett vanligt laddningsbart batteri som innehåller 8820 As och tänker på vad en blixtnedslag kan åstadkomma, är det lätt att förstå att en liten laddningsmängd inte får tolkas som något "ofarligt" och att laddningsmängd absolut inte är samma sak som energi. Elektrisk energimängd (E , mäts i J eller Js) och laddningsmängd (Q mäts i C/As) vilket är två helt skilda saker.



Figur 2.34

Symbolen för ESD-känslig komponent

Statisk elektricitet och ESD

Begreppet ESD (Electro Static Discharge), elektrostatisk urladdning är ett helt område inom elektroniken som går ut på att skapa en miljö som skyddar känsliga elektriska komponenter från att bli skadade eller förstöras av statiska urladdningar. När man arbetar med elektronik är det viktigt att se till att man själv och arbetsytan håller samma elektriska potential som den elektronik man arbetar med.

När uppstår problemet?

Det är lätt att samla på sig laddning genom att sitta och gnida på en stol, gå över en plasmatta, eller ännu värre, skor med plastsulor på en heltäckningsmatta. Under ogynnsamma förhållanden kan en person laddas upp 10-tals kV. Om urladdning sker mot ett mönsterkort kan ESD-känsliga komponenter skadas eller helt sluta fungera.

Fixa ny bild →



Figur 2.35

ESD-skydd

Skydd mot statisk elektricitet

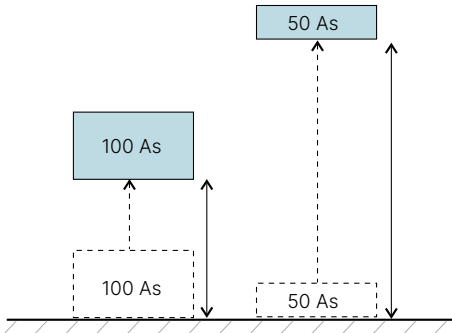
Grundläggande skydd är att man har ett avledande armband samt en ESD-bänkmatta vilka båda håller samma potential som de kretsar man arbetar med. Ska man förfina ESD-skyddet ytterligare finns avledande golvmattor, avledande skor, avledande verktyg, skyddsrock med invävt avledande material m.m. Alla ESD-skydd har samma syfte, se till att ingen elektrisk potential (spänning) ska kunna byggas upp.

Övningsuppgifter

2.1 Tolkta formeln $U = E/Q$

Man kan tolka formeln för spänning $U = E/Q$ på t.ex. det här sättet:

Med hjälp av energimängden 100 Ws (E) kan laddningen 100 As (Q) "flyttas" till nivån 1 V (U). Med samma energimängd kan laddningen 50 As "flyttas" till nivån 2 V.



Beräkna hur mycket energi som krävs för att "flytta" laddningsmängden 60 Ah till spänningen 12 V.

2.2 Statisk elektricitet

Spänning definieras som $U = E/Q$ dvs. energi per laddning.

Av formeln framgår att spänningen i sig själv inte uppstår på grund av mängden laddningar som separeras. Teoretiskt kan laddningen vara en enda elektron. Eftersom elektronens laddning endast är $1,602 \cdot 10^{-19}$ As inser man att det krävs en oerhört liten mängd energi för att en spänning på flera tusen volt skall uppstå.

Hur mycket energi ska tillföras en elektron för att spänningen 10 000V skall uppstå?

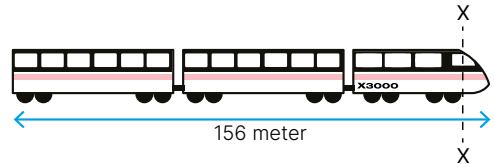
2.3 Ström av elektroner

Tänk dig att du kunde räkna antalet elektroner som passerar genom en ledare och kom fram till att det blev 112 000 000 000 000 000 000 st ($1,12 \cdot 10^{20}$) under 10 sekunder.

Om du räknar med att en elektrons laddning är $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ As, hur stor är då strömmen genom ledaren?

2.4 Hur fort passerar en laddning?

Den elektriska strömmen består av laddningar som rör sig. Ju snabbare laddningarna rör sig, desto större blir strömmen. Man kan säga att strömmen är ett mått på laddningarnas hastighet. Jämför med tåget.



Om du vet att tåget är 156 m långt och att det passerar x---x på 100 sekunder, kan du beräkna hastigheten som: $v = s/t = 156 / 100 = 1,56$ m/s Multiplicera m/s med 3,6 för att omvandla till km/h: $1,56 \times 3,6 = 5,6$ km/h.

Byt nu ut tåget mot laddningar som passerar genom en ledare. Laddningens storlek (Q) motsvarar storleken på tåget, vi tänker oss den som 156 As. Om det tar 100 sekunder (t) för laddningen att passera får vi hastigheten dvs. strömmen (I) som: $I = Q/t = 156 \text{ As} / 100\text{s} = 1,56 \text{ A}$.

a) Kan du nu beräkna hur lång tid det skulle ta för samma laddning att passera om strömmen (hastigheten) bara var 25 mA? Ge svaret i minuter.

b) Försök beräkna hur mycket laddning som passerar under 3 minuter om strömmen är 120 mA.



2.5 Hur länge räcker 1 As?

Hur användbart är till exempel ett batteri som har laddats med laddningsmängden 1 As?

Vi tänker oss en LED-ficklampa som drar 100 mA ström. Beräkna hur länge 1 As skulle räcka.

2.6 Laddningsmängd med och utan energi!

En kopparledare innehåller ett antal fria elektroner som motsvarar en viss laddningsmängd. Ett batteri innehåller en laddningsmängd men också spänning. Varför finns det ingen spänning i ledaren som ju också innehåller laddning?

Övningsuppgifter

2.7 Batteriets livslängd

Du köper ett uppladdningsbart AA batteri. På batteriet står det 1,2V - 2200 mAh. Batteriet sitter i en tältbelysning som enligt beskrivningen drar 200 mA. Hur länge varar ditt batteri (i teorin) på en laddning?

2.8 Var tar laddningen vägen?

Ett batteri innehåller 1200 mAh vid spänningen 1,2V när det är fullt uppladdat. Genom en kortslutning blir spänningen 0 V.

- Var finns laddningen 1200 mAh efter kortslutningen?
- Förklara varför resultatet blir 0 V.

2.9 Wh, mAh och As

Ett digitalkamerabatteri är märkt 7,2 V, 16,4 Wh.

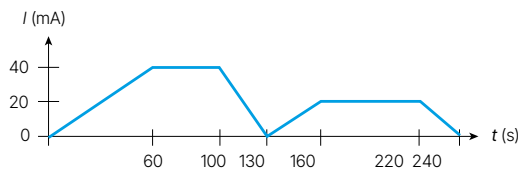
- Vad är kapaciteten uttryckt i As?
- Vad är kapaciteten uttryckt i mAh?

2.10 Bilbatteriets kapacitet

Kapaciteten hos ett bilbatteri mäts i Ah, vilket betyder amperetimmar. Ett vanligt värde 60Ah. Hur många C (Coulomb) motsvarar detta?

2.11 En strömkällas urladdning

Antag att en laddningsbar strömkälla (en 12V blyackumulator) har en kapacitet på 7 Ah. Om batteriet belastas med en konstant ström på 0,14 A, hur lång tid tar det (teoretiskt) innan strömkällan är tömd på laddningar?



2.12 Beräkning av laddningsmängd

Ofta överförs inte laddningarna i en konstant ström utan betydligt mera olinjärt. Beräkna den totala laddningsmängden i coulomb.

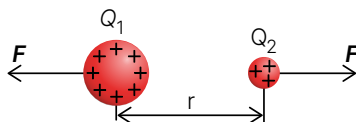


2.13 Bilbatteri vintertid

Ett normalt fulladdat bilbatteri har kapaciteten 60 Ah. En kall vinterdag kan kapaciteten vara nere i 30 %. En startmotor drar ca 200 A. Hur lång tid (teoretiskt) orkar batteriet dra runt startmotorn under dessa förutsättningar?

2.14 Laddningarnas och energins roll

Vilka olika roller spelar laddningar (Q) och energi (E) vid uppladdning respektive urladdning?



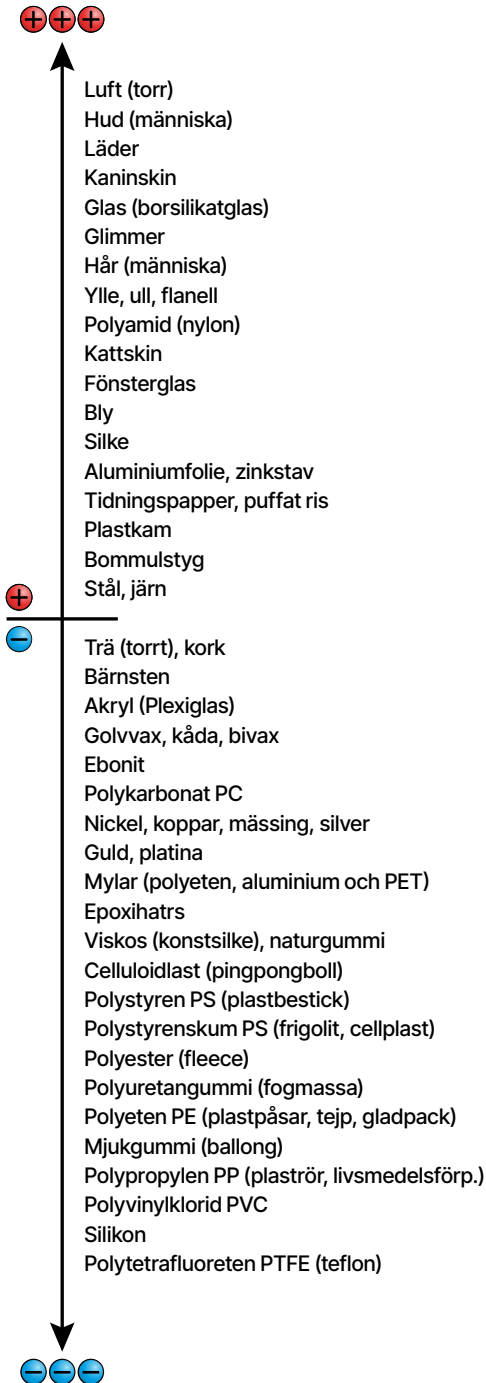
$$F = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

2.15 Hur stor är kraften mellan två laddade partiklar?

Gör uppgiften efter du läst om Coulombs lag i fördjupningen.

- Vad blir kraften mellan de två partiklarna Q_1 och Q_2 ? Q_1 har $6 \mu\text{C}$ laddning och Q_2 har $2 \mu\text{C}$ laddning. Avståndet (r) är 10 cm.
- Blir svaret positivt eller negativt? Varför blir det så?

Fördjupning



Figur 2.36

Den triboelektriska serien

Triboelektricitet

Triboelektricitet uppstår när två material gnids mot varandra och elektroner överförs mellan ytorna (tribos är det grekiska ordet för att gni-da). Det resulterar i en elektrostatisk uppladdning av ytorna. För att kunna förutsäga hur olika material kommer att reagera när de gnids mot varandra, finns den triboelektriska serien. Här finns positiva material som har lätt att lämna ifrån sig elektroner samt negativa material som har lätt för att ta upp elektroner. Hur stor laddning som ansamlas beror på hur långt ifrån materialen ligger från varandra i serien. I försök med statisk elektricitet väljer man därför ämnen som ligger långt ifrån varandra.

Genom att använda serien kan man välja material som är mindre benägna att generera statisk elektricitet och där med minska risken för skador på elektroniska komponenter och annan utrustning. Det är viktigt att notera den triboelektriska serien inte är en exakt vetenskap, då det finns variationer på hur olika material beter sig beroende på yttre faktorer och omständigheter.

Mera om elektronen och atomen

År 1897 hade engelsmannen J J Thomson konstruerat något som närmast kan liknas vid en enkel bildskärm. I ett vakuumfyllt glasrör placerade Thomson två elektroder kallade katod och anod. Katoden värmdes upp med hjälp av en glödlampspiralspiral och mellan katoden och anoden anslöts en hög positiv spänning anoden (+). Det visade sig då att det från katoden utgick en ljusstråle som av bara farten gick igenom hålet i anoden och träffade det fluorescerande skiktet i rörets ände. Anordningen fick det passande namnet katodstrålerör. Thomson kunde visa att strålen böjde av genom påverkan av en magnet och drog slutsatsen att strålen bestod av negativt laddade partiklar, vilka senare fick namnet elektroner. Man förutsatte att dessa lösgjordes från atomerna i det upphettade katodmaterialet och att de accelererades mot anoden genom den höga spänningen. Thomson med flera av dåtidens vetenskapsmän började nu spekulera i hur atomen egentligen såg ut inuti. Den engelske fysikern Ernest Rutherford kom genom experiment fram

Fördjupning

till att atomerna till största delen bestod av tomrum men med ett litet men mycket tungt centra. Rutherford kallade väteets atomkärna proton.

Några år senare (1914) presenterade den danske fysikern Niels Bohr sin modell av en väteatom. I den består väteatomen av en atomkärna, en proton där det runt den cirkulerar en elektron.

Detta blev grundmodellen för atomteorin där man tänker sig att all materia är uppbyggd av atomer där varje atom har en positiv kärna, runt vilken det kretsar negativa elektroner.

Elektronernas negativa laddning vägs upp av kärnans (protonernas) positiva laddning. Utifrån sett är därför atomen elektrisk neutral.

Det följde en tid med mycket vägande och beräkning av antal elektroner respektive protoner för olika ämnen. Direkt efter väte kom gasen helium med två elektroner runt kärnan. Heliumatomen (kärnan) var dock inte dubbelt så tung utan fyra gånger så tung som vätekärnan. Man antog då att det finns en tredje partikel i kärnan, ungefär lika tung som protonen. Den nya partikeln måste dock vara utan laddning dvs. neutral eftersom utgångspunkten är att atomen som helhet är neutral (lika många positiva protoner som negativa elektroner).

Den nya partikeln kallades neutron. Med hjälp av dessa tre partiklar, elektronen, protonen och neutronen skapades det så kallade periodiska systemet där alla grundämnen kunde sorteras.

Elektronernas energi

Under normala förhållanden finns elektronerna på bestämda nivåer runt kärnan men man vet att elektronerna under vissa förhållanden kan hoppa mellan nivåerna. För att en elektron skall kunna hoppa till en bana längre från kärnan måste den elektromagnetiska kraften mellan kärnan och elektronen övervinnas. Detta betyder att energi måste tillföras. Detta är precis vad som händer i Thomsons katodstrålerör (och TV-bildröret). Genom uppvärmning av katoden tillförs elektronerna energi och förmås därigenom lämna katoden och accelerera med hjälp av högspänningen. Det har visat sig att elektronerna i själva verket befinner sig på bestämda energinivåer i förhål-

lande till sin kärna. Det är inte fråga om godtyckliga nivåer utan just bestämda sådana. Man säger att energinivåerna är kvantiserade.

Genom att tillföra energi (genom till exempel ljus) kan en elektron hoppa ut till nästa skal (energinivå). Detta kallas för excitering. Genom att tillföra ytterligare energi kan elektronen till och med frigöras från kärnan. Om en elektron tillförs mer energi än som krävs för ett hopp till nästa nivå blir denna del till rörelseenergi hos elektronen.

Processen kan också vara den motsatta. När en elektron hoppar tillbaka till ett skal närmare kärnan frigörs motsvarande mängd energi vilken sänds ut som en foton dvs. ljus.

Fotonen och fotoelektriska effekten

Plancks konstant

Vid slutet av 1800-talet sysslade många fysiker med att försöka förklara värmestrålningens natur. Det fanns ett klart samband mellan temperatur (energi) och frekvens som dock inte gick att förklara med hjälp av den klassiska fysiken.

Den tyske fysikern Max Planck (1858 - 1947) gjorde antagandet att energin i värmestrålning (dvs. den elektromagnetiska strålning) har en minsta möjliga kvantitet (kvant) $\Delta E = h \cdot f$ där (h) är en konstant och (f) frekvensen. Energin i varje energikvanta skulle då vara direkt proportionell mot frekvensen. Vidare måste varje mängd energi vara en heltalsmultipl av denna kvant. dvs.

$E = k \cdot h \cdot f$ där (k) är ett heltal.

Denna formel visade mycket god överensstämmelse med experimentella resultat. Konstanten $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J}$ kallas Plancks konstant.

Einstein och fotonen

Ungefär samtidigt försökte fysikerna förklara hur det kom sig att vissa metaller som hade laddats upp genom statisk elektricitet verkade förlora sin laddning när de belystes med ultraviolett ljus. Det verkade helt enkelt som om laddade partiklar, i detta fall elektroner, absorberade energi

Fördjupning

från ljuset och därför kunde lämna materialet. Fenomenet kallades fotoelektrisk emission eller fotoeffekt (emission = utsändande, utstrålning). Det underliga var att emissionen var beroende av dels materialet och dels ljusets frekvens men oberoende av ljusets intensitet.

För varje typ av material fanns det en gränshastighet under vilken inga elektroner emitterades.

Den då unge Albert Einstein (1879 - 1955) föreslog 1905 att lösningen fanns i en tillämpning av Plancks ekvation $\Delta E = h \cdot f$.

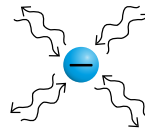
De fria elektronerna växelverkade (med den elektromagnetiska strålningens energikvanta. Om energin i ett utsänt kvanta var tillräckligt hög, dvs. frekvensen tillräckligt hög, kunde samma kvanta absorberas av en elektron. Om energin var tillräckligt stor kunde elektronen lämna metallen. Det var en djärv teori som förutsatte, mer eller mindre, att ljuset inte endast kunde betraktas som en våg utan även som en ström av partiklar. Det dröjde ett 20-tal år innan teorin blev allmänt accepterad och ljusets energikvanta (elementarpartiklar med rörelsemängd) fick namnet foton. Fotonen betraktad som en partikel har ingen vilomassa, den rör sig därför med ljusets hastighet och är bärare av energi $E = h \cdot f$.

Det är den fotoelektriska effekten som utnyttjas i fotoceller.

Växelverkan genom fotoner

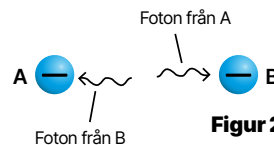
Genom accepterandet av fotonen fastslogs att den elektromagnetiska vågen har en dubbelnatur, både våg och ström av partiklar. Vid den här tiden hade ingen kunnat förklara varifrån den kraft kommer som får lika laddningar att repelleras respektive attrahera varandra. Det har visat sig att det är fotoner som spelar en nyckelroll i den växelverkan som uppstår mellan laddade partiklar. Enligt den elektriska kvantfältteorin (del av kvantfysiken) är grunden för den elektromagnetiska kraften förmedlande kraftpartiklar. I fallet med två elektroner är dessa kraftpartiklar fotoner. Rummet utanför elektronerna är inte tomt. Varje elementarpartikel är i själva verket omgiven av ett moln av kortlivade partiklar. De kallas virtuella eftersom de är kortlivade. "Ensamma" elek-

troner och elektroner bundna till kärnan genererar en ständig ström av virtuella fotoner som åter absorberas av elektronen själv.



Figur 2.37
Virtuell partikel

Man kan säga att elektronen omger sig av ett lånat elektromagnetiskt energifält (fotoner) som ögonblicket senare återbetalas. När två elektroner närmar sig varandra uppstår möjligheten att absorbera varandras fotoner. Det sker helt enkelt ett utbyte av fotoner.



Figur 2.38
Utbyte av fotoner

Vid detta utbyte överförs kraft genom att fotonen innehåller rörelsemängd. Utbytet ger upphov till en repellerande kraftverkan mellan elektronerna. Eftersom fotoner rör sig i det närmaste med ljusets hastighet sker detta utbyte mycket snabbt.

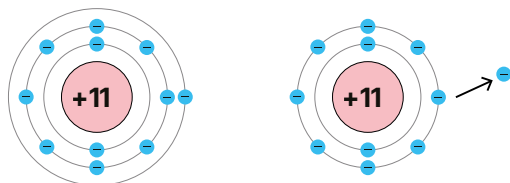
Elektrisk ström - inte bara elektroner

Om en elektron lämnar en atom kommer den resterande delen av atomen att få ett underskott på negativ laddning dvs. atomen blir positivt laddad. En sådan atom kallas *positiv jon*.

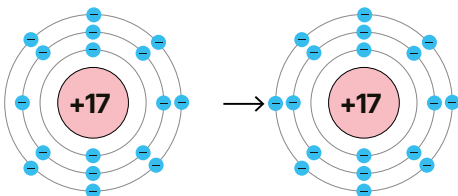
I koppar liksom de flesta ledare är positiva joner kraftigt bundna till molekylen, de kan därför inte röra sig i en ström av laddningar på det sätt elektronerna gör. Elektrisk ström är just laddningar i rörelse, det är bara elektronerna som kan röra sig i en metall.

I vissa sammanhang kan atomer förmå att ta till sig extra elektroner. En sådan atom får ett överskott på negativa laddningar och kallas då för *negativ jon*. Som vi skall se senare kan såväl positiva som negativa joner fungera som laddningsbärare av ström. Detta gäller till t.ex. i vätskor eller i batterier. Den elektriska strömmen är en samordnad ström av laddningar, av vilket slag som helst.

Fördjupning



Natrium, Na → Natriumjon, Na⁺ + elektron, e⁻



Klor, Cl + elektron, e⁻ → Klorjon, Cl⁻

Figur 2.39

Natriumatom bildar positiv natriumjon
Kloratom bildar negativ klorjon

I **figur 2.39** får natriumjonen får en laddning på $-1e$, klorjonen får en laddning på $+1e$. Mer om joner i kapitel 6 som handlar om batterier.

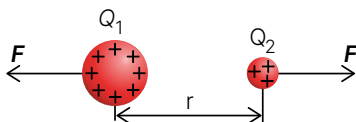
Coulombs lag

Ingenjören och fysikerern Charles-Augustin de Coulomb (1736 –1806), formulerade det som skulle kallas Coulombs lag. Han gav också namnet åt enheten för laddning, coulomb.

Lagen är lik Newtons gravitationslag och beskriver hur elektrisk laddning påverkar den elektriska kraften mellan två partiklar.

Enligt denna lag är kraften mellan två laddade partiklar beroende på laddningarnas storlek och avtar med kvadraten på avståndet.

$$F = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$



Figur 2.40

F är den repellerande kraften

Kraften (F) anges i newton, Coulombs konstant (k), Laddningarna (Q_1 och Q_2) anges i coulomb och avståndet (r) anges i meter.

Coulombs konstant, $k = 1 / 4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \approx 8,98 \cdot 10^9 \approx 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$.

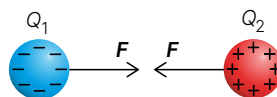
ϵ_0 är en naturkonstant $= 8,854 \cdot 10^{-12}$ som har fundamental betydelse och som brukar kallas permittivitetskonstanten för vakuum. Formeln för Coulombs lag gäller i vakuum men approximativt även i luft.



Figur 2.41

Q_1 och Q_2 repellerar = F blir negativ

Om Q_1 och Q_2 har samma tecken blir F ett positivt tal, det betyder att kraften repellerande.



Figur 2.42

Q_1 och Q_2 attraherar = F blir positiv

Om Q_1 och Q_2 har olika tecken blir F ett negativt tal, det betyder att kraften är attraherande.

Facit

2.1 Formel: $U=E/Q$ ger $E=U \cdot Q =$
 $E = 12\text{V} \cdot 60\text{Ah} = 720 \text{ Wh} = \mathbf{0.72 \text{ kWh}}$.
 Du behöver inte omvandla Ah till As om du håller reda på att du räknar på timmar istället för sekunder.

2.2 Formel: $U=E/Q$ ger $E=U \cdot Q =$
 $E = 10\,000 / 1,6 \cdot 10^{-19} = \mathbf{1,6 \cdot 10^{-15} \text{ Js}}$.
 Även om statisk elektricitet i praktiken handlar om betydligt fler laddningar, förklarar exemplet varför statisk elektricitet innebär hög spänning men lite energi, och därför är relativt ofarlig för människan.

Facit

2.3 Formel: $I=Q/t$

Först räknar vi ut laddningsmängden (Q):

$$Q = 1,12 \cdot 10^{20} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 17,92 \approx 18 \text{ As}$$

$$I = Q/t = 18 \text{ As} / 10 \text{ s} = \mathbf{1,8 \text{ A}}$$

$Q=E/U$ för att direkt omvandla Ah.

$$Q=1000 \cdot E/U$$

$$Q = 16,4 \cdot 1000 / 7,2 \approx \mathbf{2278 \text{ mAh}}$$

2.4 a) Formel $I=Q/t$ ger $t=Q/I$ ger $Q=I \cdot t$

$$25 \text{ mA} = 25 \cdot 10^{-3} = 0,025 \text{ A}$$

$$t = 156 / 0,025 = 6240 \text{ s} / 60 = \mathbf{104 \text{ min}}$$

b) Formel: $I=Q/t$ ger $Q=I \cdot t$

$$I = 120 \text{ mA} = 20 \cdot 10^{-3} = 0,120 \text{ A}$$

$$t = 3 \text{ min} = 3 \cdot 60 = 180 \text{ s}$$

$$Q = 0,120 \cdot 180 = \mathbf{21,6 \text{ As}}$$

2.5 Formel: $I=Q/t$ ger $t=Q/I$

$$I = 100 \text{ mA} = 0,1 \text{ A}$$

$$t = 1 \text{ As} / 0,1 \text{ A} = \mathbf{10 \text{ sekunder}}$$

I detta sammanhang är alltså 1 As en liten laddningsmängd.

2.6 Laddningsmängden i batteriet har tillförts en (kemisk) energi vilket skapat spänning $U=E/Q$. Detta gäller inte de fria elektroderna i kopparledaren. Dessa har inte tillförts energi och därför existerar laddningsmängden men ingen spänning i ledaren.

2.7 Formel: $I=Q/t$ ger $t=Q/I$

$$t = 2200 \text{ mAh} / 200 \text{ mA} = \mathbf{11 \text{ h}}$$

2.8 a) Laddningen finns kvar i batteriet

b) laddningens energi har försvunnit från batteriet.

2.9 a) $1 \text{ Wh} = 1 \cdot 60 \cdot 60 = 3600 \text{ Ws}$

$$16,4 \text{ Wh} = 16,4 \cdot 60 \cdot 60 = 59\,040 \text{ Ws}$$

$$\text{Formel: } Q=E/U$$

$$Q = 59040 / 7,2 = \mathbf{8200 \text{ As}}$$

b) Formel: $I=Q/t$

$$I = 8200 \text{ As} / 3600 \text{ s} \approx 2,278 \text{ Ah}$$

$$1 \text{ Ah omvandlat till mAh} = 1 \cdot 1000 = 1000 \text{ mAh}$$

$$2,278 \text{ Ah} \cdot 1000 = \mathbf{2278 \text{ mAh}}$$

Man skulle kunna utföra ovanstående enklare genom att anpassa formeln

2.10 60 Ah betyder 60 A under 1 timme dvs.

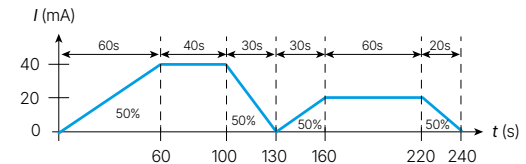
60 A under $60 \cdot 60 = 3600$ sek dvs.

$$60 \cdot 3600 = 216\,000 \text{ As} = \mathbf{216\,000 \text{ C}}$$

2.11 Om 7 Ah skall förbrukas med strömmen

0,13 A blir tiden $t = Q/I$

$$t = 7 \text{ Ah} / 0,13 \text{ A} = \mathbf{50 \text{ timmar}}$$



2.12 Formel: $Q=I \cdot t$. $40 \text{ mA} = 0,04 \text{ A}$

Beräkna summan elektricitetsmängd (laddningar) under hela tiden.

$$(0,04 \text{ A} \cdot 60 \text{ s} / 2) + (0,04 \cdot 40) + (0,04 \cdot 30 / 2) + (0,02 \cdot 30 / 2) + (0,02 \cdot 60) + (0,02 \cdot 20 / 2) = \mathbf{5,1 \text{ C (As)}}$$

2.13 30% av 60 Ah / 200 A =

$$0,3 \cdot 60 / 200 = 0,09 \text{ timmar.}$$

$$0,09 \text{ h} \cdot 60 \text{ min} = \mathbf{5,4 \text{ minuter}}$$

2.14 Vid uppladdning separeras negativa och positiva laddningar vilket kräver tillförsel av energi. Vid urladdning återförenas positiva och negativa laddningar varvid energi frigörs.

2.15 a) $Q1 = 8 \text{ } \mu\text{C} = 8 \cdot 10^{-6} \text{ C}$

$$Q1 = 5 \text{ } \mu\text{C} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

$$r = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$$

$$k = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$$

$$F = 9 \cdot 10^9 \cdot (8 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^{-6}) / (0,1)^2 = \mathbf{36 \text{ N}}$$

b) Efter som att 36 N är ett positivt tal betyder det att kraften är repellerande

Sammanfattning

Elektrisk potential = spänning

Om en laddning (Q) ska förflyttas från punkten A till B måste energi (E) tillföras.

Den skillnad i potentiell energi per laddning som uppstår genom förflyttning är det vi till vardags kallar elektrisk spänning. Begreppet potentialskillnad förtydligar vad spänning är, att det finns en skillnad i potentiell energi, för den elektriska laddningen, före och efter förflyttningen.

$$U = \frac{E}{Q}$$

Formeln säger att: energin (E) som används för att förflytta laddningen (Q) ger oss en potentialskillnad (U).

Kan även uttryckas som:

Spänningen (U) motsvarar den energimängd (E) som tillförts en laddningsmängd (Q).

Enheten för spänning är volt (V)

Eftersom energi (E) mäts i Ws eller i J (joule) och laddningsmängd (Q) mäts i As eller i C (coulomb) blir enheten för spänning Ws/As, vilket är samma sak som J/C (joule per coulomb).

$$1 \text{ V} = 1 \text{ J/C}$$

Laddningarnas framåtrörelse = ström

När fria elektroner förflyttar sig mot pluspolen kallar vi det för elektrisk ström.

Ju fler laddningar som förflyttar sig per tidsenhet, desto större är strömmen. För att en elektrisk ström ska kunna uppstå, krävs såväl en sluten strömkrets som en spänning (potentialskillnad). Det är spänningen som knuffar på elektronerna i ledaren.

$$\text{Elektrisk ström} = \frac{\text{Förflyttning av laddningar}}{\text{tidsenhet}}$$

I en sluten strömkrets är laddningsmängden konstant, inga laddningar tillkommer eller försvinner. Det är samma mängd laddningar i en ledare både före en förbrukare (t.ex. lampa) som efter den. Inga elektroner "förbrukas" eller försvinner, det som förbrukas är energin.

Definitionen av elektrisk ström kan sammanfattas i formeln:

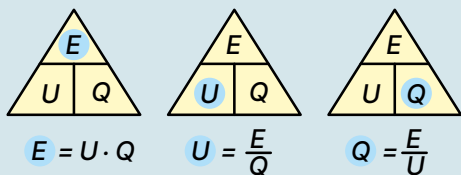
$$I = \frac{Q}{t}$$

Där (I) är elektrisk ström, (Q) är laddning och (t) är tid.

Enheten för ström är ampere (A)

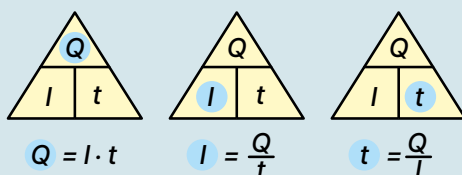
Ström (I) mäts i ampere och laddningsmängd (Q) mäts i As eller C (Coulomb). Ampere är en grundenhet i SI-systemet. 1 A är samma sak om 1 As/s ($I = Q/t$). Förkortar man bort s:en i ekvationen blir bara A kvar, alltså 1A.

Beräkningstriangel för Energi - Spänning - Laddning



E = Energi = Ws (wattsekund)
 U = Spänning = V (volt)
 Q = Laddning = As (amperesekund)

Beräkningstriangel för Laddning - Ström - Tid



Q = Laddning = As (amperesekund)
 I = Ström = A (ampere)
 t = Tid = s (sekund)